

Inwentaryzacja szybowego zespołu wyciągowego z wykorzystaniem klasycznych metod mierniczych i skaningu laserowego

Classical measurement methods and laser scanning usage in shaft hoist assembly inventory



Dr hab. inż. Wojciech Jaśkowski^{)}, prof. AGH*



Dr hab. inż. Tomasz Lipecki^{)}*



Mgr inż. Wojciech Matwij^{)}*



Mgr inż. Mateusz Jabłoński^{)}*

Treść: Szybowy zespół wyciągowy stanowi podstawę działalności każdego podziemnego zakładu górniczego. Jego sprawność i poprawne działanie podlega restrykcyjnym regulacjom prawnym, i jest na co dzień kontrolowane przez zespoły szybowe oraz energomechaniczne. Ponadto, w interwale wskazanym w przepisach, zespół szybowy podlega dokładnej inwentaryzacji, w której skład wchodzi określenie zależności geometrycznych pomiędzy maszyną wyciągową a wieżą szybową oraz szybem i jego obudową. Do pomiarów inwentaryzacyjnych w przypadku szybów i wież wykorzystuje się znane od lat klasyczne metody geodezyjne, obejmujące pionowanie mechaniczne lub laserowe oraz pomiary tachymetryczne. Do pomiaru wałów maszyn wyciągowych i kół linowych wykorzystuje się dodatkowo niwelację precyzyjną. Ciągłe unowocześnianie technologii pomiarowych daje możliwość implementacji kolejnych metod do wymienionych powyżej celów. Autorzy dokonali porównania dokładności oraz ekonomiki wykonywania pomiarów w oparciu o wieloletnie doświadczenia z kompleksowych inwentaryzacji urządzeń wyciągowych z wykorzystaniem różnych technik badawczych.

Abstract: The shaft hoist assembly is the foundation of any underground mine. Its efficiency and correct operation are subject to restrictive legal regulations and are monitored on a daily basis by shaft and energomechanics units. In addition, at the regulatory interval, the shaft hoist assembly is subject to thorough inventory, which includes the determination of the geometrical relationship between the lifting machine and shaft and its housing. Inventory measurements for shafts and towers are performed with the help of conventional geodetic methods used for years, including mechanical or laser plating, and tachymetric measurements. For measuring hoisting machines and rope wheels transmission shafts precision levelling is also used. Continuous modernization of measurement technology gives the possibility to implement further methods for the abovementioned purposes. Based on many years of experience and measurements of the same object by use of classical methods and laser scanner, the authors have compared the accuracy and economics of performing comprehensive inventory of lifting equipment using the abovementioned research techniques.

^{*)} *AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Słowa kluczowe:

wieża szybowa, skaning laserowy, ekonomika pomiaru

Keywords:

headgear, laser scanning, measurement economy

1. Wstęp

Niniejszy artykuł przedstawia analizę pomiaru inwentaryzacyjnego, obejmujący wieżę o konstrukcji dwuzastrzałowej (koźłowej) i symetrycznym rozmieszczeniu zastrzałów oraz maszyn wyciągowych. Wieża usytuowana jest nad 160-metrowym szybem. Wyposażona jest w dwa pomosty kół linywowych, rozmieszczone na wysokości 37 m oraz 43,7 m nad poziomem zrębu szybu. Na poziomie dolnym znajdują się trzy koła linywowe, w tym dwa nadsiębierne z jednej strony (A) i jedno z drugiej (B). Na górnym pomoście ustawione jest nad nim koło liny nadsiębiernej (B). Orientacyjny schemat wieży przedstawiono na rys. 1.

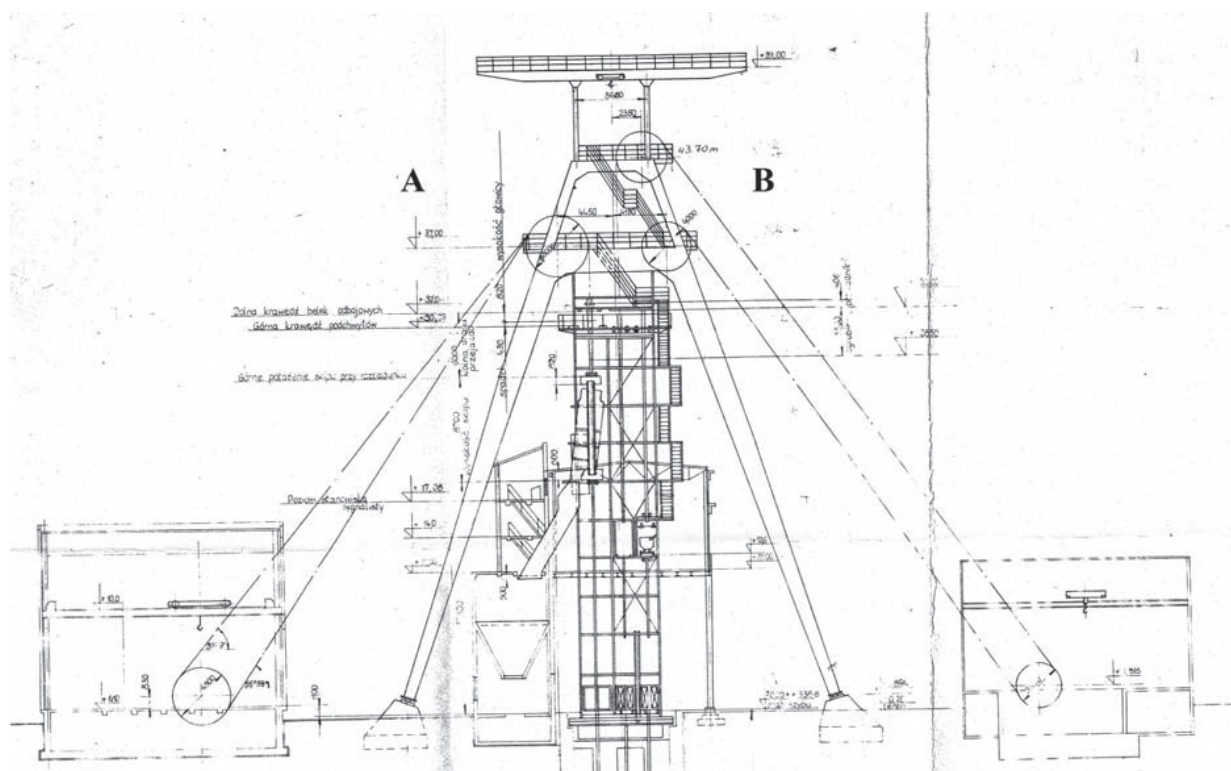
2. Podstawy prawne wykonywania pomiarów inwentaryzacyjnych szybowego zespołu wyciągowego

Przestrzenne rozmieszczenie elementów wież szybowych, szybów i maszyn wyciągowych jest zmienne w czasie. Zmiany położenia wywołane są wpływami eksploatacji górniczej, wstrząsami górnymi, warunkami atmosferycznymi (nasłonecznieniem, wiatrem) oraz oddziaływaniem na konstrukcję wieży urządzeń wyciągowych (Szczerbowski, Józwik 2002). Przepisy szczegółowe (poniżej podane), związane z Prawem Geologiczno-Górnym jako parametry bezpiecznego transportu szybowego wskazują między innymi na pionowość wieży szybowej, nachylenia wałów kół i maszyn wyciągowych, odpowiednie wartości rzeczywistych kątów tarcia i wartości luzów prowadniczych w szybie. Zasady wykonywania pomiarów kontrolnych uregulowane są dwoma aktami prawnymi:

- Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169, z 2006 r. Nr 124, poz. 863 oraz z 2010 r. Nr 126, poz. 855 stan prawny na 14 sierpnia 2010 r.) - §469.1, oraz
- Załącznikiem nr 4 do ww. Rozporządzenia. Szczegółowe zasady prowadzenia ruchu w wyrobiskach – p.5.11.27, p.5.11.29, p.5.12.3, oraz
- Polską Normą – Szyby, wieże szybowe i urządzenia wyciągowe (PN-G-09051) – p.1.2.9 – 1.2.14, p.2.2.

Zgodnie z §35 działu II Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139 z 2 września 2002 r.), służba mierniczo-geologiczna zakładu górnego powinna wykonywać pomiary inwentaryzacyjne i kontrolne wyrobisk górniczych oraz urządzeń i obiektów zakładu górnego podczas ruchu i likwidacji, jak również obserwacje deformacji terenu i obiektów budowlanych objętych wpływami eksploatacji górniczej. Zgodnie z §30 do obiektów budowlanych zalicza się między innymi szyby, szybowe wieże wyciągowe, budynki maszyn wyciągowych oraz budynki nadszybia (Rozporządzenie ... 2002, Załącznik ... 2002).

Najistotniejszy, podany w Rozporządzeniu przepis (§469.1) dotyczy granicznego wychylenia wieży od pionu, które podczas eksploatacji nie może przekroczyć wartości 1/500 wysokości wieży, zmierzonej od osi górnego koła linywowego lub osi koła bębna pędnego maszyny wyciągowej



Rys.1. Schemat konstrukcji wieży szybowej
Fig. 1. Scheme of headgear structure

do belek podtrzonowych wieży szybowej. W praktyce z pomiarów wyznacza się wychylenie wieży na pewnym wycinku tej wysokości – najczęściej od zrębu lub najniższego dostępnego poziomu wieży, aż do wysokości pomostu kół linowych i ekstrapoluje się na wysokość osi kół linowych. Przepis ten w zestawieniu z definicjami osi wież szybowych podanymi w Polskiej Normie PN-G-09051 nie jest jednoznaczny, gdyż w tej ostatniej nie ma definicji osi wieży szybowej. Podane są natomiast definicje dwóch innych osi:

- pionowej osi trzonu przewodniczego wieży szybowej,
- pionowej osi głowicy wieży.

W zależności od rodzaju i konstrukcji wieży obie te osie nie zawsze się ze sobą pokrywają. Ponieważ pionowa os trzonu przewodniczego jest zawsze dłuższa od pionowej osi głowicy wieży. Można zatem przyjąć, że przepis §469.1 dotyczy przede wszystkim tej pierwszej. Inne ujęcie tego zagadnienia zawarte jest w punkcie 5.11.27 ww. Załącznika nr 4 do Rozporządzenia. Stanowi on, że na konstrukcji wieży o wysokości powyżej 30 m, w odstępach nie większych niż 15 m umieszcza się znaki umożliwiające okresową inwentaryzację wieży. Może to być zinterpretowane jako wyznaczanie zmian odchyleń osiadania wieży względem jej stanu w początkowej serii pomiarów (zmiany względne) bez odniesienia się przy tym do jej faktycznego wychylenia z pionu. Należy zatem przyjąć, że geodezyjne pomiary sprowadzają się do pomiarów inwentaryzacyjnych, na podstawie których opracowuje się dokumentację górniczego wyciągu szybowego oraz pomiarów kontrolnych, które w zasadzie dotyczą pomiarów odchyleń wieży od pionu oraz jej osiadań. W tym ostatnim zakresie przepisy dopuszczają zabudowę stanowisk do wykonywania dojsć do urządzeń pomiarowych (Lipecki 2013).

Kolejne przepisy określają również między innymi dopuszczalne wychylenia wałów maszyn wyciągowych oraz kół linowych, kąty tarcia lin na wyżej wymienionych elementach oraz – w odniesieniu do szybu – dopuszczalne odchyłki od luzów przewodniczych (§475 Rozporządzenia). Niemal wszystkie powyższe regulacje wymagają bardzo dokładnego wyznaczenia wielu szczegółów na poziomie kilku milimetrów. Przykładowo dla analizowanej wieży, mierząc wysokość wieży od belek podtrzonowych do osi górnego koła linowego, otrzymujemy 44,8 m. Wielkość wychylenia wieży na ww. wysokości zgodnie z obowiązującymi przepisami nie powinna przekraczać: 89,6 mm, co oznacza, że błąd pomiaru na poziomie 10 mm może znacząco wpłynąć na otrzymany wynik wychylenia wieży.

3. Metodyka pomiarów inwentaryzacyjnych

W celu wyznaczenia wektora odchylenia osi głównej wieży szybowej od pionu można posługiwać się następującymi metodami geodezyjnymi:

- pionowaniem optycznym, laserowym, wcięciami przestrzennymi,
- odrzutowaniem na dolny poziom, metodą stycznych otaczających,
- pomiarem tachimetrycznym punktów kontrolnych i charakterystycznych.

Są to metody dyskretne, określające stan osi konstrukcji w sposób pośredni dla jednego cyklu obserwacji (Pielok 2004, Jabłoński, Jaśkowski 2016). Jako uzupełnienie powyższych metod należy wspomnieć o konieczności wykonania niwelacji precyzyjnej wałów kół linowych i maszyn wyciągowych.

W celu dokonania pełnej inwentaryzacji szybu górniczego należy zastosować kilka uzupełniających się technik pomiarowych, co znacznie wydłuża wykonywanie badań mierniczych. Zbiór klasycznych metod geodezyjnych można częściowo

zastąpić skanowaniem laserowym, który pozwala na wykonanie pomiarów zbliżonych swym zakresem do komplementarnych, tak by uzyskać jak najwięcej potrzebnych informacji w jak najkrótszym czasie. Zakres tych informacji jest nieporównywalnie większy od pozyskiwanego metodami tradycyjnymi. Ponadto wykorzystanie skaningu może być istotne z punktu widzenia ekonomicznego, jak również ze względu na bezpieczeństwo pracowników wykonujących pomiary.

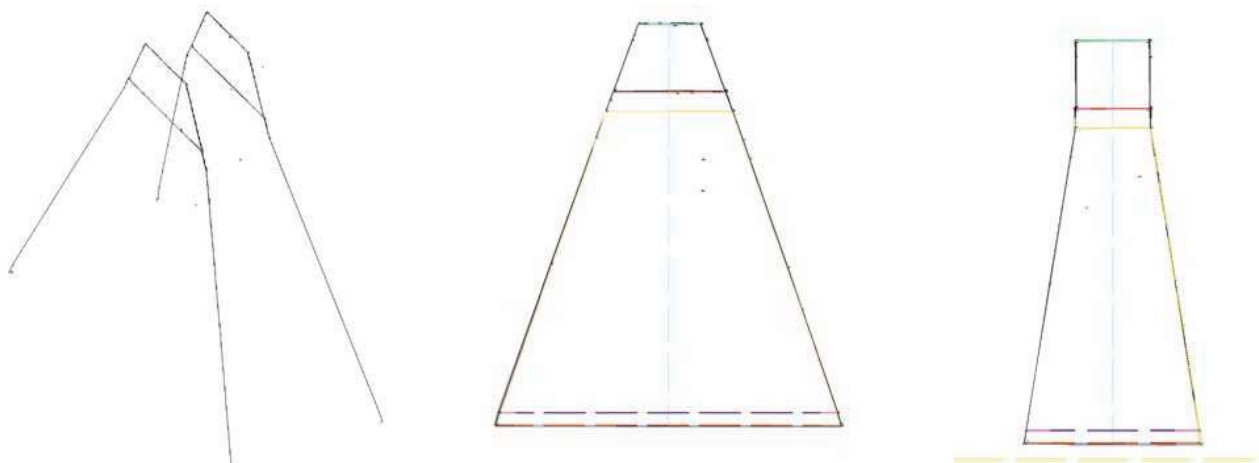
Nowoczesne technologie pomiarów geodezyjnych w postaci skaningu laserowego 3D umożliwiają wykonywanie badań z tak wielką ilością pomierzonych punktów, że przestrzeń odwzorowana w postaci dyskretnej wygląda jak rzeczywista. Oznacza to, że odwzorowanie ciągłe przestrzeni (tak jak na zdjęciach fotogrametrycznych) i pomiary punktowe, dyskretne (realizowane w klasycznych pomiarach geodezyjnych) stają się bardzo podobne. Wykonanie pomiarów skaningowych trwa bardzo krótko (kilka minut na stanowisku pomiarowym), a ilość pozyskanej w ten sposób informacji jest niemożliwa do uzyskania innymi metodami pomiarowymi. Dzięki temu prowadzenie analiz oraz tworzenie modeli cyfrowych może być realizowane na dowolnie wybranym zestawie punktów, definiujących podzespoły obiektu.

Obiekt podlegający analizie inwentaryzowano dwukrotnie: w pierwszej serii, w 2011 roku tachimetrem precyzyjnym pomierzono punkty charakterystyczne, wyznaczając geometrię wieży szybowej, a w drugiej serii, w 2016 roku skanerem laserowym wykonano pomiar całego zespołu wyciągowego.

4. Otrzymany materiał pomiarowy

Z uwagi na szybkość i dokładność realizowanych pomiarów, jak również ze względu na brak potrzeby wstrzymywania na długi czas pracy urządzeń szybowych, podczas I serii (wyjściowej) w 2011 roku zaplanowano wykonywanie pomiarów kątowno-liniowych precyzyjnym tachimetrem laserowym. Zasadniczemu pomiarowi kątowno-liniowemu podlegały punkty charakterystyczne zamarkowane zgodnie z Rozporządzeniem na różnych poziomach wieży oraz stopach fundamentowych na każdej z nóg zastrzałów (rys. 2). Punkty te powinny umożliwiać pomiar odległości między nimi w sposób bezpośredni oraz być punktami wysokościowymi, których wysokość powinna być określona łącznie z wysokością reperów u podstawy trzonu. W przypadku rozdzielenia funkcji kontrolnych, należy zastabilizować repery na stopach fundamentowych każdej z nóg zastrzałów. Zbiór punktów przekształcono w uproszczony model wieży i na jego podstawie wykonano analizę wychylenia.

Po upływie ustawowych 5 lat, w 2016 roku, II serię pomiarową przeprowadzono przy zastosowaniu skanera laserowego ScanStation C10 firmy Leica umożliwiającym pozyskanie informacji o mierzonym obiekcie z dokładnością nie gorszą niż ± 2 mm dla pojedynczego stanowiska pomiarowego. Do pomiaru osnowy pomiarowej, punktów łącznych dla skanów (szachownic) oraz kontroli punktów charakterystycznych wykorzystano precyzyjny tachimetr. Osnowę wyrównano metodą ścisłą, co pozwoliło wyznaczyć punkty łączne dla skanów z błędem położenia punktu $\pm 1,4$ mm. W efekcie błąd położenia punktu w chmurze punktów wynosił około 2 mm. Przeliczenie do układu globalnego umożliwił pomiar statyczny GNSS wykonany na stanowiskach osnowy. Produktem pomiaru wykonanego w ramach drugiej serii była chmura punktów reprezentująca konstrukcję wieży szybowej oraz maszyn wyciągowych (rys.3). W oparciu o analizę cyfrowego, wektorowego modelu przestrzennego obiektu, dokonuje się określenia pionowości. Uzyskiwana dokładność pomiaru, ± 2 mm dla pojedynczego punktu, jest zupełnie wystarczająca



Rys. 2. Obrys nóg i zastrzałów uzyskany oraz widoki pionowe w kierunkach głównych osi wieży na podstawie wykonanych obserwacji w 2011 roku

Fig. 2. Outline of props and braces and vertical view towards the main axes on the basis of observations performed in 2011

do wyznaczenia położenia punktów charakterystycznych, służących do późniejszego wyznaczenia środków symetrii odpowiednich poziomów budowli bądź jej fragmentów i wyznaczenia współrzędnych punktów badawczych.

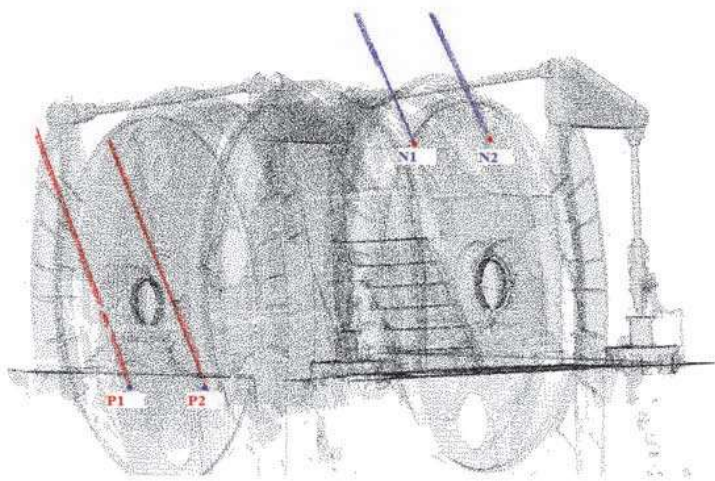
Wykonany w drugiej serii pomiar skanerem laserowym rozszerzono o skanowanie szybu i maszyn wyciągowych, usytuowanych w jednym układzie (rys. 4). Umożliwiło to analizę luzów prowadniczych i prowadzenia katowego w szybie, oraz wyznaczenie punktów charakterystycznych potrzebnych do wyznaczenia pionowości liny schodzącej do szybu oraz pozornych i rzeczywistych kątów tarcia. Do określenia wychylenia wałów kół linowych i maszyn wyciągowych przeprowadzono pomiar przy pomocy niwelacji precyzyjnej.

5. Przeprowadzone analizy

Druga seria pomiarowa wykonana w 2016 roku umożliwiła wykonanie przekrojów i dokładniejsze wskazanie zmian

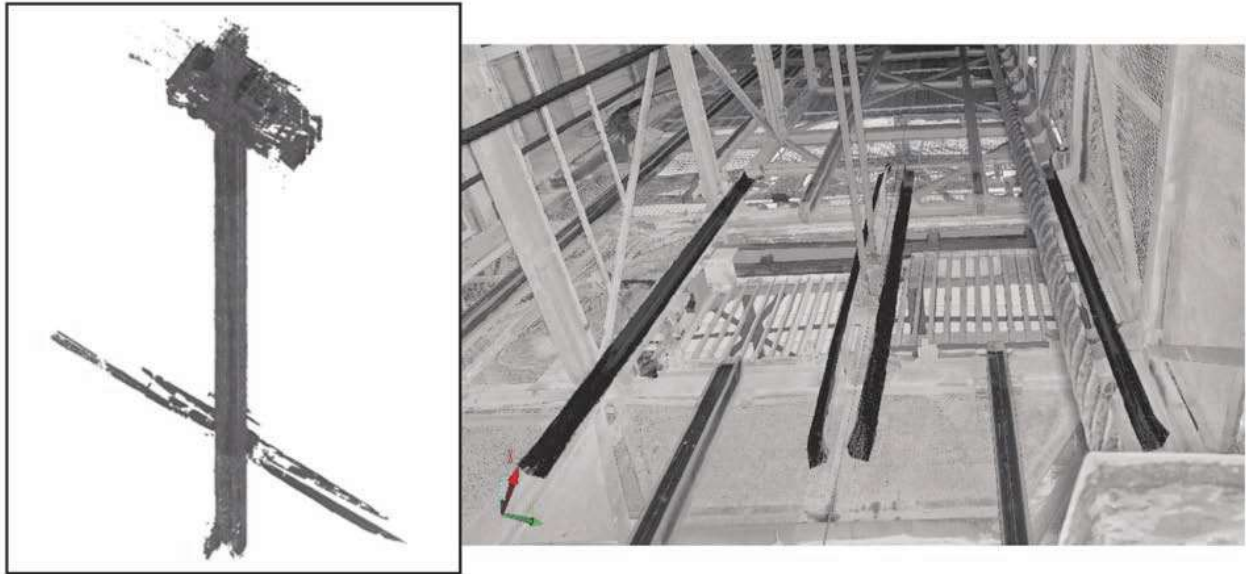
wchylenia osi wieży, a ponadto stworzenie wykresu zmian wychylenia wieży na poszczególnych przekrojach (rys. 5).

Dane skaningowe wykorzystano również do określenia relacji przestrzennej pomiędzy kołami a maszynami wyciągowymi oraz pionowości liny schodzącej do szybu (rys. 6). Wyznaczone w ten sposób miejsca zejścia liny z kół oraz maszyn pozwoliły na obliczenie rzeczywistych kątów tarcia. Określenie szerokości wału maszyny wykonano dwoma metodami: klasycznie tachimetrem oraz skanerem laserowym. Wartość ta zwykle liczona z różnicy współrzędnych pomierzonych tachimetrem (lub w niektórych przypadkach metodą rzędnych i odciętych), została pomierzona na chmurze punktów. Analiza wykazała różnicę rzędu kilku milimetrów, co nie ma realnego wpływu na otrzymane wyniki i mieści się w dokładności pomiaru oboma metodami. Dane z niwelacji wałów kół i maszyn wyciągowych pozyskano przy pomocy niwelatora precyzyjnego. Również te dane porównano z wynikami uzyskanymi z analizy chmury punktów. Tu jednak pojawiły się różnice wynikające z dokładności otrzymanych

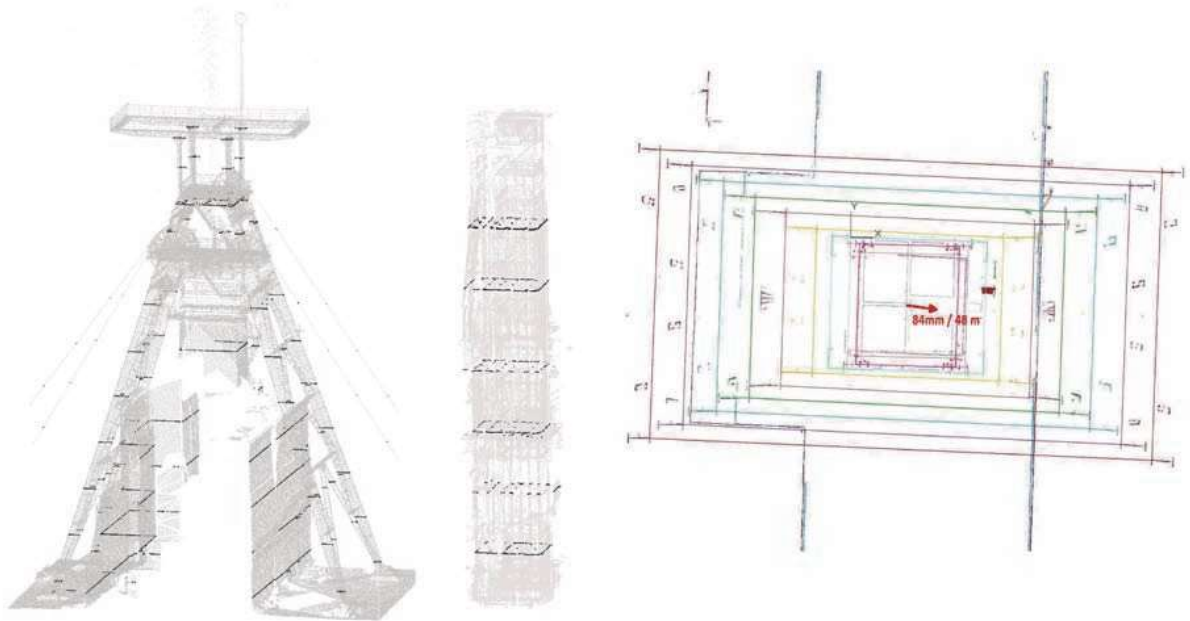


Rys.3. Chmura punktów reprezentująca wieżę szybową oraz maszynę wyciągową

Fig. 3. Point data cloud which presents headgear structure and lifting machine



Rys. 4. Chmury punktów reprezentujące cały sztyb z nadsztybem oraz krzesła sztybowe
 Fig. 4. Point data cloud which presents the whole shaft with pit head and shaft chairs



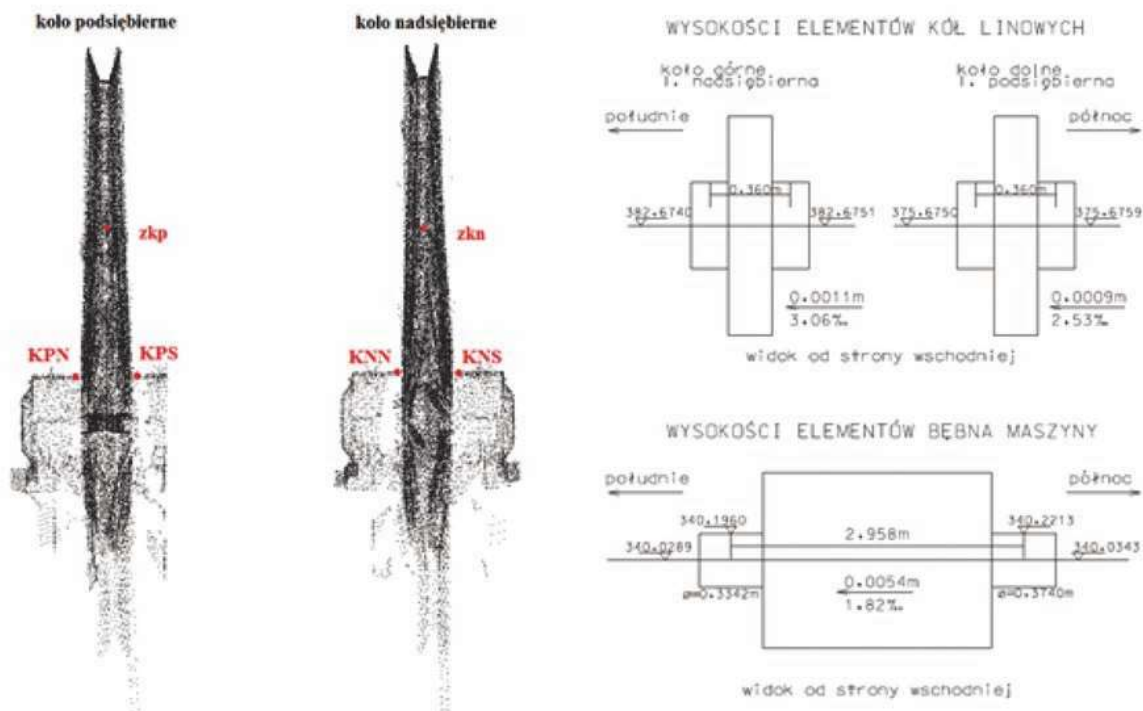
Rys. 5. Sposób wykonania badań w oparciu o pomiary wieży i trzonu oraz wektor wychylenia poziomego osi wieży
 Fig. 5. The manner of performing research on the basis of measurements of the headgear and the body as well as the headgear axis inclination vector

danych. Chmura punktów posiada bowiem informację o wysokości z dokładnością do 1mm, niwelacja precyzyjna daje ją dużo wyższą. Na bazie rzędu 30-40 cm (szerokość wałów kół linowych) czy 3-4 metrów (szerokość wałów maszyn) precyzja pomiaru staje się niezwykle ważna, ponieważ różnica 0,5 mm na wale koła linowego daje już ponad 1%.

Transformacja utworzonych ze skanów modeli przestrzennych do wspólnego układu współrzędnych dała możliwość analizy luzów prowadniczych i prowadzenia kąтового w sztybie (rys. 7). Pomiar w sztybie wykonany został skanerem laserowym z dachu klatki sztybowej. Jako punkty łączne wykorzystano sfery montowane na dźwigarach, co pozwoliło na wykonanie pomiaru bez czasochłonnego pionowania mechanicznego i oszczędność kilku godzin z wyłączenia sztybu na czas pomiaru.

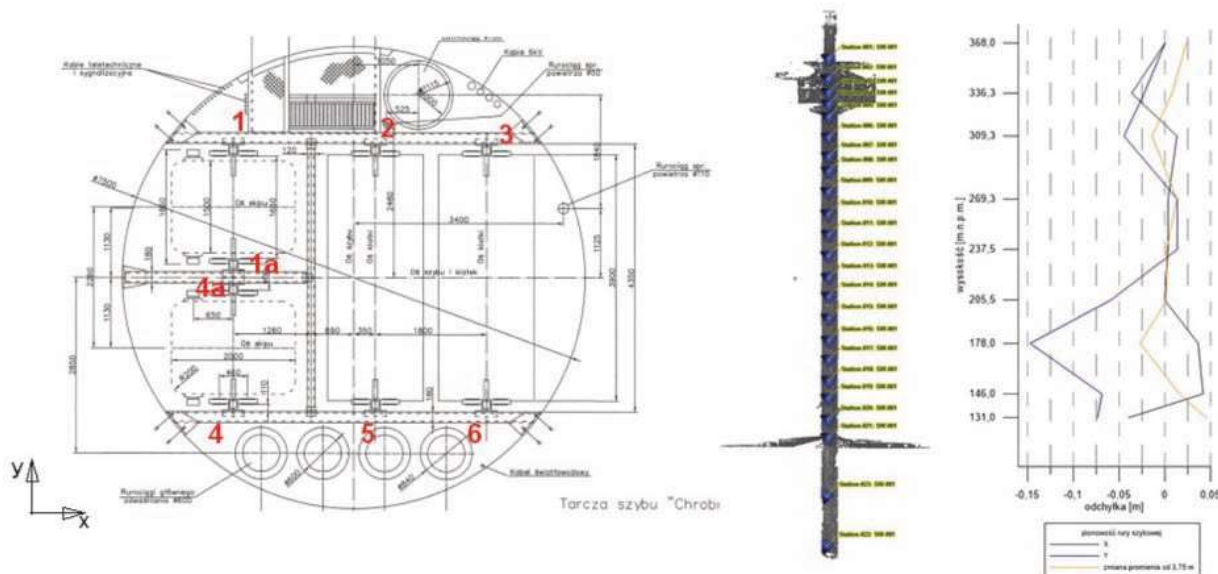
6. Wnioski

Na podstawie wykonanych skanerem laserowym pomiarów, stworzono modele cyfrowe obiektów pozwalające na realizowanie kolejnych analiz prowadzonych komputerowo. Polegały one na wyznaczeniu charakterystycznych punktów rozmieszczonych na osiach maszyn wyciągowych, ustaleniu profili poprzecznych na poziomach dźwigarów w interwałach co 4 m oraz określeniu współrzędnych punktów reprezentujących ustalone poziomy oraz odpowiednie płaszczyzny prowadników sztywnych i prowadzenia kąтового. Tak uzyskana baza punktów posłużyła do wykonania opracowania przestrzennego rozmieszczenia osi bębnowych maszyn, kół linowych, prostoliniowości prowadników i prowadników kątowych, określenia luzów prowadniczych oraz położenia w stosunku do prowadników sztywnych.



Rys. 6. Widok chmur punktów kół linowych wraz z oznaczeniem punktów niwelacyjnych oraz przykładowy widok uzyskanych wyników

Fig. 6. View of point data clouds of head-pulleys along with determination of bench marks and an example of the obtained results



Rys.7. Schemat tarczy szybowej wraz z oznaczonymi przewodnikami, usytuowanie stanowisk skanera laserowego oraz wykres prezentujący pionowość osi szybu

Fig. 7. Scheme of shaft shield along with the marked introducers, location of laser scanner positions and diagram representing the verticality of headgear axis

Dokładność pojedynczego punktu w chmurze punktów ocenia się na ± 2 mm, co w przypadku wykonania profili i wyznaczenia z nich przebiegu osi głównych oraz płaszczyzn przewodników jest wystarczające. Dla zespołu maszyna-koła linowe (z podziałem na maszynę zachodnią – skipową i wschodnią) zaprezentowano wykresy azymutów osi lin, kół i wału bębna, kątów rzeczywistych tarcia, pochylenia wałów oraz pionowości zejścia liny do szybu z poziomu kół linowych. Pionowość wieży zaprezentowano w postaci przekrojów pionowych w dwóch płaszczyznach prostopadłych oraz w rzucie poziomym. W trakcie pomiaru wyznaczono również wartości

liniowe rozstawów nominalnych dla poszczególnych przedziałów szybowych (wschodniego i zachodniego) oraz szerokości i długości naczyń wraz z prowadzeniem ślizgowym.

Pomiar całego zespołu wyciągowego, czyli trzech niemal niezależnych obiektów: szybu, wieży szybowej wraz z trzonem, głowicą i zastrzałami oraz maszyny wyciągowej, czteroosobowy zespół wykonał w ciągu około 12 godzin, wliczając w to kontrolne pomiary, mające na celu sprawdzenie możliwości wykorzystania danych skaningowych do konkretnych zagadnień. Dzięki wykorzystaniu skaningu laserowego zespół mógł zrezygnować z najbardziej czasochłonnnych czyn-

ności jak pionowanie mechaniczne w szybie i na wieży oraz przeniesienia wysokości. Częściowo zrezygnowano również z pomiaru tachimetrycznego. Można więc przyjąć, że czas wykonania pomiaru, a więc i wyłączenia szybu z ruchu, spadł o połowę. Czas pracy, jej charakter i ilość osób zaangażowanych w pomiar wskazuje również na wzrost bezpieczeństwa ekipy pomiarowej.

Skaning laserowy staje się tym samym bardzo poważnym substytutem wielu metod pomiarowych oraz uzupełnieniem całości badań. Pokazuje to jak nowoczesne technologie przedostają się do świadomości działów mierniczych. Należy jednak pamiętać o ograniczeniach w stosowaniu skaningu laserowego w warunkach szybowych (np. duże zawilgocenie czy zapylenie w szybach wydechowych). Ponadto ciągle problemem dla działów mierniczych może pozostawać dostępność sprzętu pomiarowego oraz czasochłonność opracowania danych i wydajność dostępnych komputerów. Dane otrzymane z kilkudziesięciu stanowisk skanera laserowego wymagają wydajnych kart graficznych i dużej pamięci komputerów oraz specjalistycznej wiedzy z zakresu obróbki uzyskanych danych.

Artykuł opracowano w ramach prac statutowych AGH nr 11.11.150.195.

Literatura

- JABŁOŃSKI M., JAŚKOWSKI W. 2016 - Przegląd technik inwentaryzacji rury szybowej. Budownictwo i Architektura, Politechnika Lubelska, s. 154-160.
- LIPECKI T. 2013 - Kompleksowa ocena stanu geometrycznego obiektów i urządzeń szybowych z zastosowaniem skaningu laserowego. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- PIELOK J. 2004 - Pomiar inwentaryzacyjny szybów kopalnianych. Miesięcznik WUG, nr 3.
- SZCZERBOWSKI Z., JÓŻWIK M. 2002 - Przykłady naturalnych i górniczych uwarunkowań deformacji szybów górniczych. XXV Zimowa Szkoła Mechaniki Górnotworu „Geotechnika i budownictwo specjalne”, Zakopane.
- Akty prawne:
Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, Dz.U.02.139.1169.
Załącznik nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 roku „Szczegółowe zasady prowadzenia ruchu w wyrobiskach”, Dz.U.02.139.1169.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2017
Artykuł akceptowano do druku 30.11.2017

Szanowni Czytelnicy!

Przypominamy o wznowieniu

prenumeraty „Przeglądu Górniczego”

Informujemy też, że od 2009 roku w grudniowym zeszycie P.G. zamieszczamy listę naszych prenumeratorów.